

УДК 514.182

РОЗРАХУНОК ПРОМЕНЕВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ОДИНОЧНОЇ КРУГЛОРЕБРИСТОЇ ТРУБИ

Самарін В.О.*

Національний університет цивільного захисту України (м. Харків)

Тел. 099-242-07-04

Анотація – проведене порівняння результатів розрахунків випромінювання труб з круглими ребрами і пучків з них із навколишнім середовищем за середнім кутовим коефіцієнтом через наведену степінь чорноти і зональним методом.

Ключові слова – променистий теплообмін, зональний метод, гладкотрубні пучки.

Постановка проблеми. Труби з поперечними круглими ребрами знаходять широке застосування в техніці. З них виготовляються теплообмінні секції апаратів повітряного охолодження, калорифери, і т.п. При експлуатації теплообмінника в режимі вільної конвекції помітна частина теплоти відводиться випромінюванням і її не можна не враховувати. Частка променистої складової для одиночної ребристої труби завжди більше, ніж в пучку, і може доходити до 50% від загального теплового потоку. Виникає необхідність порівняння різних методів розрахунку теплообміну випромінюванням одиночної круглоребристої труби і пучків з навколишнім середовищем.

Аналіз останніх досліджень. В інженерній практиці використовуються два основні методи розрахунку теплообміну випромінюванням [1-2]: розрахунок за середнім кутовим коефіцієнтом та зональний метод. У роботі [3] викладена методика, що застосовується для технічних розрахунків лише до таких ребристих труб, які мають досить великі відносні міжреберні кроки і без урахування впливу товщини ребра. Розрахунок випромінювання ребристих пучків складний, і в цьому напрямку необхідно продовжувати дослідження. Переходячи до методів розрахунку променистого теплообміну слід враховувати [2] умову

$$\frac{\varphi_{m-c} F_m}{F_0} \geq 0.9, \quad (1)$$

де φ_{m-c} - значення кутового коефіцієнта випромінювання від

* Науковий керівник – д.т.н., професор Шоман О.В.

одиначної ребристої труби до навколишнього середовища F_T - площа поверхні труби, що оребрена; F_0 - площа поверхні, що огинає ребристу трубу по вершинах ребер (гладка труба діаметром d), ребристий пучок можна розглядати як гладкотрубний зі ступенем чорноти поверхні труб ε_{ef} . При цьому для спрощення розрахунків всі кутові коефіцієнти, а в зональному методі також і дозвільні коефіцієнти випромінювання, слід визначати, вважаючи труби гладкими. Згідно з даними [2], середній кутовий коефіцієнт від трубного пучка до середовища, а також і від ряду до ряду залежить головним чином від поперечного кроку труб S_1 . Вплив поздовжнього кроку S_2 нехтовно малий, важливо тільки, щоб виконувалася умова $S_2 \geq d$. Вважаємо, що кутові коефіцієнти мало залежать від типу компоновки труб у пучку.

Таким чином, достатньо проаналізувати теплообмін випромінюванням пучків з гладких труб, вважаючи, що виконуються умови (1) і $S_2 \geq d$, а всі висновки, отримані для них, практично в рівній мірі будуть справедливими і для пучків з ребристих труб.

Формулювання цілей статті. Здійснити порівняння результатів розрахунків випромінювання труб з круглими ребрами і пучків з них з навколишнім середовищем за середнім кутовим коефіцієнтом через наведену степінь чорноти і зональним методом.

Основна частина. Розглядаємо одно-, двох-, трьох- і п'ятирядні гладкотрубні пучки в діапазоні зміни відносного поперечного кроку $S_1/d = 1,0 \div 3,0$ і при $\varepsilon_{\text{ef}} = 0,3; 0,5; 0,7; 0,9$. Розрахунки проводимо з припущеннями [4]. При аналізі порівнюємо значення променистого теплового потоку Q від пучка до середовища, розраховані за середнім кутовим коефіцієнтом (позначимо цей спосіб «S») і зональним методом при розбитті пучка на деяку кількість зон (спосіб «Z n», де n - число зон). У всіх розрахунках навколишнє середовище вважаємо одним абсолютно чорним тілом (однією зоною) з постійною температурою T_2 і являла собою дві площини, що обмежують пучок.

Для пучків Q розрахунок за способом «S» здійснюється так:

$$Q = \varepsilon_{\text{зв}} c_0 \varphi_{1-2} F_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (2)$$

де $\varepsilon_{\text{зв}}$ - зведений ступінь чорноти системи тіл; c_0 - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, $c_0 = 5,67 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$; φ_{1-2} - середній кутовий коефіцієнт випромінювання від тіла 1 до тіла 2; F_1 - площа поверхні 1 тіла, м^2 ; T_1, T_2 - абсолютні температури 1 і 2 тіла відповідно, К° .

Приведену степінь чорноти $\varepsilon_{зв}$ вираховуємо за формулою

$$\varepsilon_{зв} = \left[1 + \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right) \varphi_{1-2} + \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) \varphi_{2-1} \right]^{-1}, \quad (3)$$

де ε_1 - ступінь чорноти 1 тіла; ε_2 - ступінь чорноти 2 тіла, підставляючи замість значення ε_1 і враховуючи, що $\varepsilon_2 = \varepsilon_c = 1$. Середній кутовий коефіцієнт від пучка до середовища φ_{1-2} визначали згідно [2].

Розглянемо однорядний пучок. Як показано на рис. 1, при розрахунку зональним методом система розбивалася на три зони, при цьому в пучку виділено дві зони - 1 і 2. Зрозуміло, під зоною в пучку тут і далі розуміється частина циліндричної поверхні діаметру d , а жодним чином не частина кола.

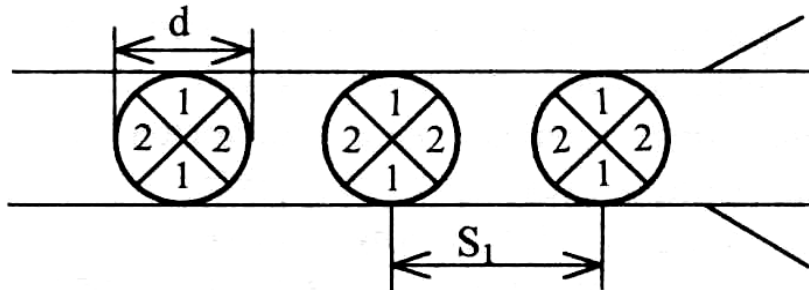


Рис. 1. Схема для розрахунку випромінювання однорядного пучка.

Кутові коефіцієнти між зонами визначалися за допомогою методу натягнутих ниток [2].

Порівняння значень Q , розрахованих методами «S» і «Z3», показало, що уточнення не перевищує 5% навіть при низьких значеннях $\varepsilon_{эф}$. Це означає, що розрахунок однорядних пучків можна з достатньою точністю здійснювати за середнім кутовим коефіцієнтом, не вдаючись до зонального методу.

На рис. 2 показана схема розбиття на зони дворядного пучка. Половини труб, звернені назовні, являють собою першу зону; половини труб, звернені всередину, - другу.

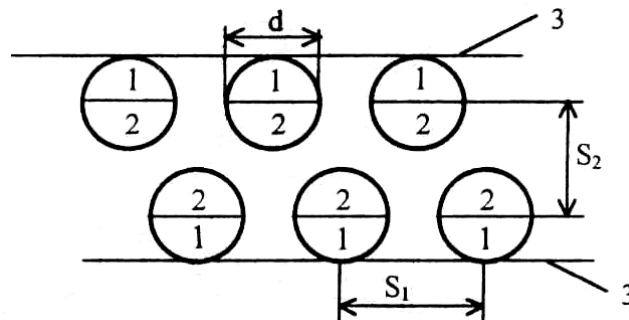


Рис. 2. Схема для розрахунку випромінювання дворядного пучка.

Процентні відношення теплових потоків, отриманих методами «S» і «Z3», для відповідних значень S_1/d і $\varepsilon_{\text{еф}}$, представлені графічно на рис.3. З графіків видно, що чим менше S_1/d і $\varepsilon_{\text{еф}}$, тим більше розбіжність результатів. Максимальна завищення результату на 42% за методом «S» виявлена при $\varepsilon_{\text{еф}} = 0,3$ і $S_1/d = 1,0$. Значна розбіжність насамперед пояснюється тим, що при малих S_1/d значення кутових коефіцієнтів φ_{1-3} і φ_{2-3} сильно відрізняються один від одного. У граничному випадку, коли $S_1/d = 1,0$, внутрішні половини труб повністю закриті від навколишнього середовища, і все тепло випромінюють (поглинають) тільки зовнішні половини труб. Зрозуміло, що для $\varepsilon_{\text{еф}} = 1$ при будь-якому значенні S_1/d результати будуть сходиться на 100%.

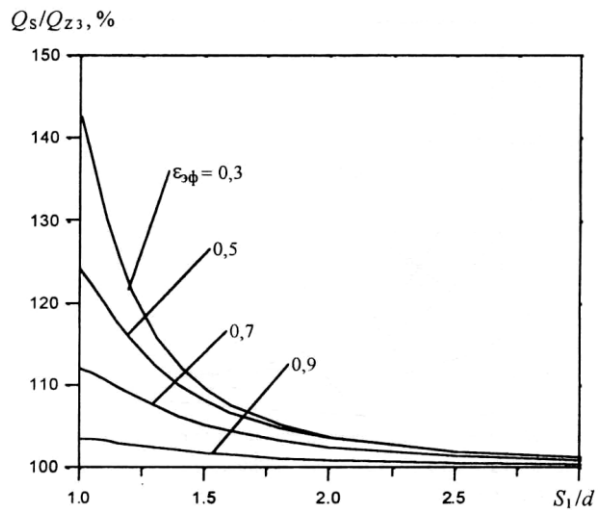


Рис. 3. Порівняння результатів розрахунків методами «S» і «Z3».

Аналогічно можна дослідити випадок трьохрядового пучка. При цьому маємо три зони розділення. Для середнього ряду верхні і нижні половини труб в силу симетрії об'єднані в одну зону. Показано, що для трьохрядних пучків зональний метод виявляє ще більше уточнення, ніж для дворядних. Як правило, уточнення тим більше, чим менше S_1/d і $\varepsilon_{\text{еф}}$, і максимальна його величина склала 65%. Однак для $\varepsilon_{\text{еф}} = 0,9$ спостерігається деяке зростання відношення Q_s/Q_{z4} зі збільшенням S_1/d , але як показали додаткові розрахунки, різниця не перевищить 8%, і при досягненні $S_1/d \approx 4$ величина Q_s/Q_{z4} знову починає знижуватися.

Розбиття на зони п'ятирядного пучка проводилося аналогічно трирядного пучку, тобто труби всіх рядів крім середнього ділилися на верхні і нижні половини. Таким чином, в пучку було виділено п'ять зон плюс середовище. Відношення теплових потоків, обчислених методами «S» і «Z6», представлені графічно на рис. 6. Максимальна розбіжність зафіксована при $S_1/d = 1$ і $\varepsilon_{\text{еф}} = 0,3$ і становить близько 90%.

Для пучків з великою кількістю рядів відмінність результатів, отриманих методами «S» і «Zn», ймовірно, буде ще вище.

Висновок. Розрахунок випромінювання однорядних пучків можна з достатньою точністю здійснювати, не вдаючись до зональних методів. Розрахунок випромінювання пучків з кількістю рядів, що дорівнює двом і більше, за середнім кутовим коефіцієнтом може призвести до серйозного завищення результату, причому похибка тим більше, чим менше відносний поперечний крок $S_1/d \cdot \varepsilon_{\text{эф}}$.

Література

1. *Самородов А.В.* Исследование лучистого теплообмена одиночной ребристой трубы с окружающей средой / А.В. Самородов, С.П. Рошин, В.Б. Кунтыш // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. Архангельск, 1997. – Вып. 2. – С. 102-113.
2. *Блох А.Г.* Теплообмен излучением: Справочник. / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков – М.: Энерго-атомиздат, 1991.– 432 с.
3. Теплообменные аппараты, приборы автоматизации и испытания холодильных машин / под ред. А. В. Быкова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 248 с.
4. *Самородов А.В.* К расчету теплообмена излучением круглоребристых труб и пучков / А.В. Самородов // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. – Петрозаводск: ПетрГУ, 1999. Вып. 2. – С. 135-142.

РАСЧЕТ ЛУЧЕВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОДИНОЧНОЙ КРУГЛОРЕБРИСТОЙ ТРУБЫ

В.А. Самарин

Аннотация - проведено сравнение результатов расчетов излучения труб с круглыми ребрами и пучков из них в окружающую среду по среднему угловому коэффициенту по приведенной степени черноты и зональным методом.

CALCULATION OF RADIAL RADIATION OF THE SINGLE ROUND RIBBED PIPE

V. Samarin

Summary

A comparison of the calculation results for radiation of tubes with circular ribs and beams from them to the environment according to the average slope of the reduced degree of blackness and zonal method is held.